

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

376/272

*Fig. 1*

519 765

3 Blätter Nr. 1\*

G 21 F — 5 / 00 — 13

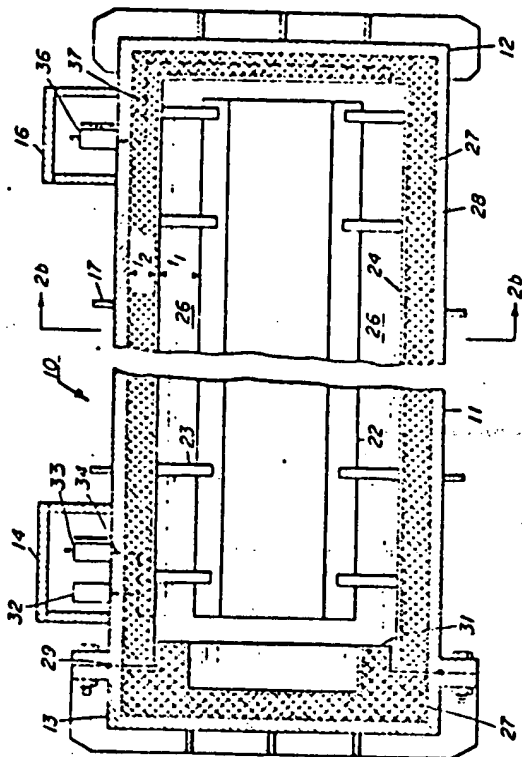


Fig. 2a

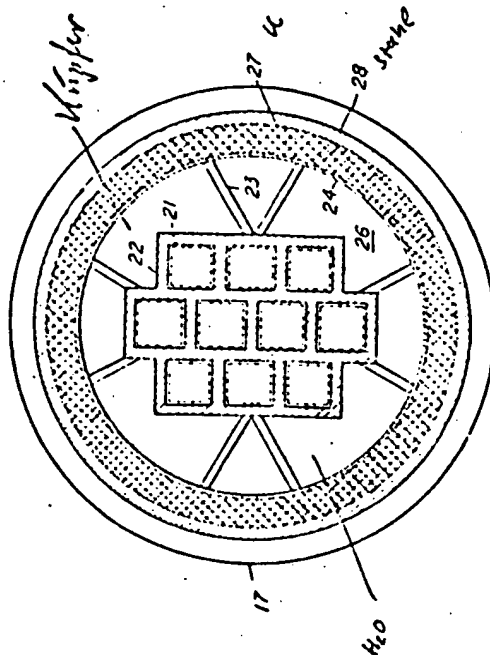


Fig. 2b

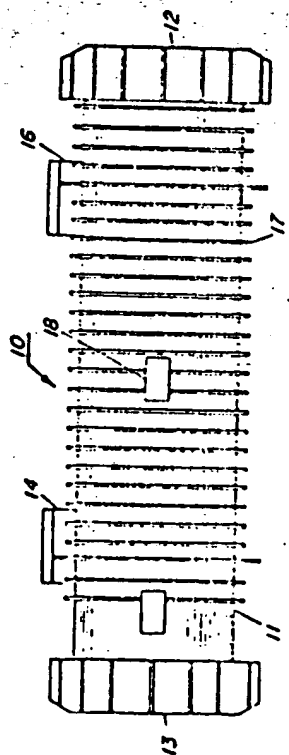


Fig. 1

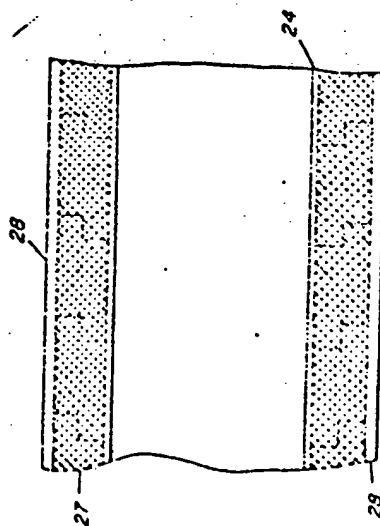


Fig. 3

overlapping joints

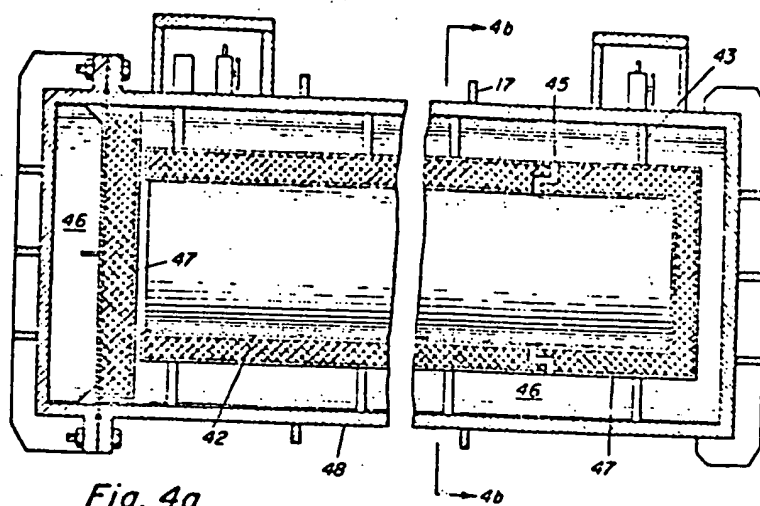


Fig. 4a

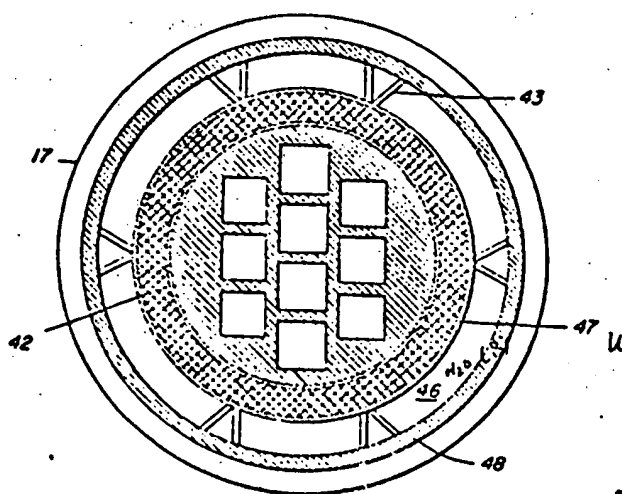


Fig. 4b

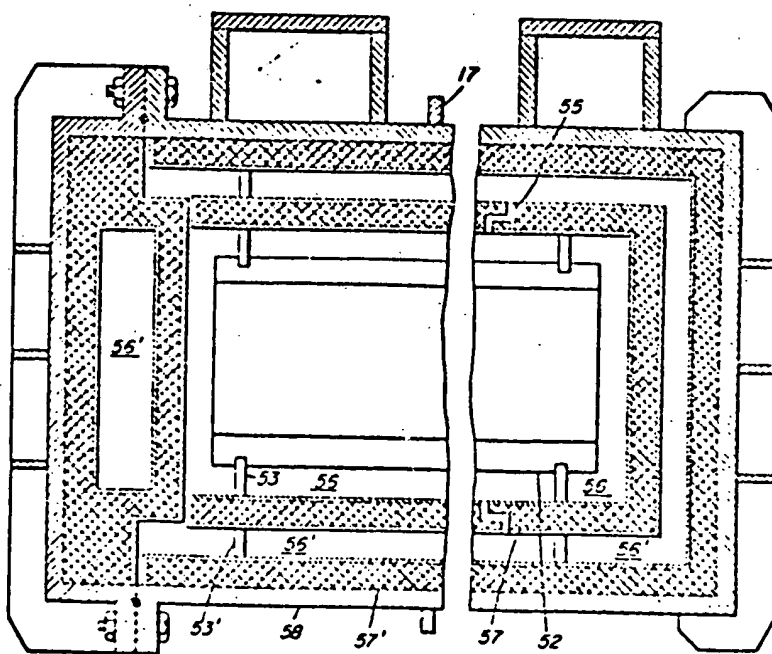


Fig. 5a

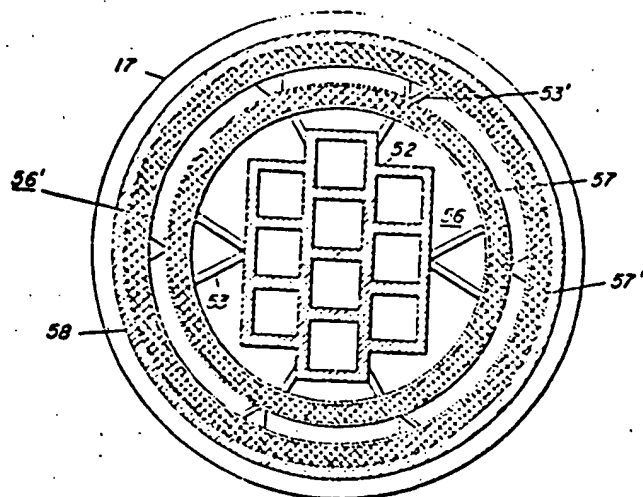


Fig. 5b

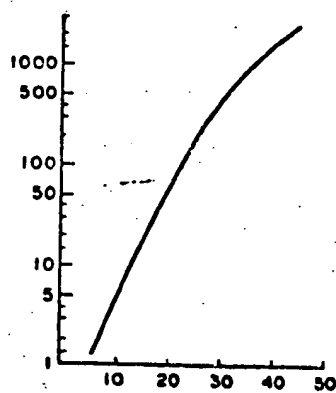


Fig. 6

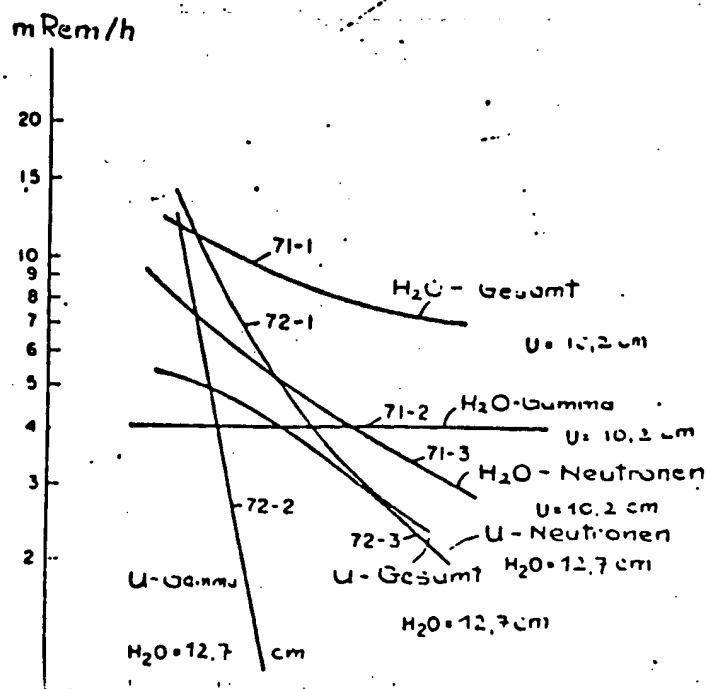


Fig. 7



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Az. 422

Gr.  
Internationale Klassifikation: G 21 f 5/00  
Gesuchsnummer: 12198/70  
Anmeldungsdatum: 14. August 1970, 17½ Uhr  
Priorität: USA, 14. August 1969 (850181)  
Patent erteilt: 29. Februar 1972  
Patentschrift veröffentlicht: 14. April 1972

G

## HAUPTPATENT

General Electric Company, Schenectady (N. Y., USA)

## Verschiffungs- und Transportbehälter für radioaktives Material

Herbert Sterling Bailey, Jr., Mount View, Randall Nim Evatt, Sunnyvale, Robert Hall Jones und Carrel Wesley Smith, San Jose (Cal., USA), sind als Erfinder genannt worden

1

Die Erfindung betrifft einen Behälter zum Verschiffen und Transportieren von radioaktivem Material, vorzugsweise von stark abgebranntem Kernreaktorbrennstoff. Dieses Material ist eine starke Neutronenquelle und zusätzlich eine Strahlungsquelle von Gammastrahlung und anderen Strahlungsarten.

Verschiffungs- und Transportbehälter von radioaktivem Material wie beispielsweise bestrahltem Kernreaktorbrennstoff sind bereits bekannt.

Gewisse staatliche Vorkehrungen, wie in den USA die AEC-Verfügung (10 CFR 71) und die DOT-Verfügung (49 CFR 173) beschreiben Verfahren und Standards zur Verpackung und zum Transport radioaktiver Materialien. Der Entwurf für einen Verschiffungsbehälter muss deshalb zusätzlich zu allgemeinen Sicherheits- und Wirtschaftsbedingungen den staatlich verfügbaren Bedingungen genügen.

Ein erwünschter Behälter zum Transport radioaktiven Materials sollte deshalb die folgenden Eigenschaften aufweisen:

Der Behälter muss eine Strahlungsabschirmung aufweisen, um die gesamte Strahlungsdosis auf den Organismus unterhalb den normalen Grenzen und denjenigen von hypothetischen Unfallbedingungen abzuschwächen, welche durch die staatlichen Verfügungen vorgeschrieben sind. Für bestrahlten Kernreaktorbrennstoff sollte die geforderte Abschirmung die gesamte Abstrahlung um einen Faktor in der Grössenordnung von  $10^{11}$  verringern.

Ebenso muss der Behälter die entsprechende Abfuhr und die Verteilung der Wärme gewährleisten, welche von dem radioaktiven Material erzeugt wird.

Der Behälter muss weiterhin seine strukturelle Beschaffenheit während Normalbedingungen und während spezieller angenommener Unfallbedingungen beibehalten. Der Behälter muss das Kühlmittel enthalten und den Austritt von irgendwelchem radioaktivem Material während Normalbedingungen verhindern, und er muss weiterhin den Austritt von radioaktiven Gasen und Flüssigkeiten während der angenommenen Unfallbedingungen begrenzen.

Es ist wünschenswert, das Fassungsvermögen für radioaktives Material so gering wie möglich zu halten, um

2

den wirtschaftlichen Vorteil der Selbstabschirmung auszunützen. Damit ist gemeint, dass der äussere Materialteil den inneren Teil des Materials abschirmt. Eine bestimmte Mengenerhöhung des radioaktiven Materials erfordert deshalb eine relativ kleine Erhöhung der Abschirmungsdicke.

Der praktische Begrenzungsfaktor für das Gesamtgewicht eines beladenen Verschiffungsbehälters stellt die Kapazität der Verladeeinrichtungen für einen solchen Behälter wie Krane und Transporteinrichtungen dar. Die Erfordernisse für eine gute Handhabung erzwingen auch eine praktische obere Grenze für die Grösse oder den Umfang des Verschiffungsbehälters.

Weil die Menge radioaktiven Materials, d. h. die Nutzlast, die in einem Behälter von praktisch maximal möglicher Grösse und Gewicht enthalten ist, im besten Falle nur einen kleinen Bruchteil des Gesamtgewichts beträgt, ist es wünschenswert, das Verhältnis von Gesamtgewicht zu Nutzlast möglichst klein zu halten. Beispielsweise kann ein Behälter ein Gesamtgewicht in der Grössenordnung von 65 Tonnen für eine Nutzlast von ungefähr 2 Tonnen haben. Es ist deshalb besonders erstrebenswert, das Gewicht der Strahlungsabschirmung möglichst klein zu machen, da die Abschirmungsanordnung den grössten Teil des Gesamtgewichts ausmacht.

Die Verschiffungskosten von radioaktivem Material enthalten zusätzlich zu den Transportgebühren noch die Benutzungsgebühren für den Verschiffungsbehälter. Die Benutzungsgebühr für den Behälter ist natürlicherweise eine direkte Funktion der Produktionskosten des Behälters, und es ist deshalb wünschenswert, diese Produktionskosten möglichst gering zu halten. Da die Fabrikation und das Material für die Abschirmungsanordnung einen grossen Teil der Behältergestehungskosten ausmacht, ist es deshalb wünschenswert, die Kosten für diese Anordnung so gering wie nur möglich zu halten.

Bis jetzt wurde der zu verschiffende bestrahlte Reaktorbrennstoff eines Leistungsreaktors nicht einer genügend starken Bestrahlung ausgesetzt, um eine Neutronenquelle von solcher Strahlungsgefahr darzustellen, dass

sen wäre. Aus diesem Grunde wurden die Abschirmungsanordnungen der früheren Verschiffungsbehälter hauptsächlich zur Abschirmung der Gammastrahlung entwickelt, ohne spezielle Vorkehrungen für die Neutronenabschirmung zu besitzen. Typische Abschirmungsanordnungen von bekannten Behältern enthalten ein spezifisch dichtes und schweres Material wie Blei.

Die jetzt geplanten langen Bestrahlungszeiten für den Kernbrennstoff in zukünftigen thermischen und schnellen Reaktoren hat die Bildung und Erzeugung von Curium, Plutonium und anderen radioaktiven Isotopen in solch einem Ausmass zur Folge, dass diese Elemente eine Neutronenquelle von grosser Intensität darstellen. Beispielsweise kann die Neutronenemissionsrate um einen Faktor grösser als 20 ansteigen, wenn der Abstand um einen Faktor 2 vergrössert wird.

Deshalb sind die bekannten Verschiffungsbehälter zum Verschiffen von Kernbrennstoff ungeeignet, welche einem hohen Abbrand ausgesetzt war; es ist also wünschenswert, einen Verschiffungsbehälter zu schaffen, bei welchem zusätzlich eine Neutronenabschirmung vorgesehen ist und dessen gesamte Abschirmungsanordnung minimale Kosten verursacht, und ein kleinstmögliches Gewicht besitzt.

Bei den bis jetzt bekannten Verschiffungsbehältern kann eine angemessene Abschirmung gegenüber Gammastrahlung und auch Neutronen nur dadurch erreicht werden, indem die Dicke des zur Abschirmung der Gammastrahlung verwendeten spezifisch schweren Abschirmmaterials vergrössert wird. Dieses Verfahren würde jedoch unerwünschterweise zu einer uneffektiv hohen Gewichtsvergrösserung führen, da spezifisch schweres Material die Neutronen schlechter moderiert als spezifisch leichtes Material und deshalb für die Neutronenabschirmung ungeeignet ist. Beispielsweise entspricht bei der Abschirmung von Gammastrahlung 30.5 cm Wasser 2.5 cm Blei, welches wiederum 1.5 cm Uran entspricht, während zur Neutronenabschirmung diese Materialien ungefähr gleich wirkungsvoll sind.

Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist es also, einen Verschiffungsbehälter zu schaffen, welcher eine wirkungsvolle Neutronenabschirmung genauso wie eine wirkungsvolle Abschirmung von anderen, für den biologischen Organismus signifikanten Strahlungsarten besitzt.

Der erfindungsgemässe Verschiffungs- und Transportbehälter für radioaktives Material, vorzugsweise für stark abgebrannte, radioaktive Kernreaktorbrennstoffe, welche biologisch signifikante Strahlung einschliesslich Gamma- und Neutronenstrahlung abgeben, ist gekennzeichnet durch einen länglichen Hohlkörper, Lagerungseinrichtungen innerhalb des Hohlkörpers zur Aufnahme und Lagerung des radioaktiven Materials und eine Strahlungs-Abschirmanordnung, welche das radioaktive Material und die Lagerungseinrichtung umgibt und welche zur Abschwächung der Gammastrahlung/mindestens eine Schicht aus spezifisch schwerem Material und zur Moderierung der Neutronen mindestens eine Schicht wasserstoffhaltigen, spezifisch leichten Materials enthält, wobei die gesamte Dicke des schweren Materials 7.5-20.5 cm und die gesamte Dicke des wasserstoffhaltigen Materials 5.0-25.5 cm beträgt.

Die vorliegende Erfindung soll nun an Ausführungsbeispielen anhand der Fig. erläutert werden.

Fig. 1 zeigt eine Aussenansicht des Verschiffungsbehälters.

Fig. 2a zeigt einen Längsschnitt der ersten Ausführungsform des Verschiffungsbehälters, und

Fig. 2b zeigt einen Querschnitt, welcher entlang der Linien 2b-2b der Fig. 2a liegt.

Fig. 3 zeigt einen Teil des Längsschnittes nach Fig. 2a, um die Schichtbauweise für die Abschirmung einer Strahlung hoher Dichte zu veranschaulichen.

Fig. 4a zeigt einen Längsschnitt der zweiten Ausführungsform der Erfindung, und

Fig. 4b zeigt einen Querschnitt, der entlang der Linien 4b-4b der Fig. 4a liegt.

Fig. 5a zeigt einen Längsschnitt einer dritten Ausführungsform der Erfindung, und

Fig. 5b zeigt einen Querschnitt, der entlang der Linien 5b-5b der Fig. 5a liegt.

Fig. 6 zeigt graphisch die Neutronenemission von bestrahltem Kernreaktor-Brennstoff in Abhängigkeit von der Bestrahlungsrate.

Fig. 7 zeigt graphisch den Abschirmwirkungsgrad verschiedener Kombinationen von Wasser und Uran.

Die vorliegende Erfindung lässt sich in verschiedenen Ausführungsformen verwirklichen. In einer ersten Ausführungsform umgibt das radioaktive Material eine Schicht wasserstoffhaltigen Materials, welches seinerseits wiederum von einer Materialschicht grosser Dichte umgeben ist.

In einer zweiten Ausführungsform sind die relativen Lagen des wasserstoffhaltigen Materials und des sehr dichten Materials umgekehrt.

In einer dritten Ausführungsform umgeben abwechselnde Schichten aus wasserstoffhaltigem und sehr dichtem Material das radioaktive Material.

In einer bevorzugten Ausführungsform letztlich wird abgereichertes Uran als Abschirmmaterial von hoher Dichte verwendet, während als wasserstoffhaltiges Material Wasser genommen wird. In Fig. 1 wird die Aussenansicht des Verschiffungsbehälters 10 gezeigt. Der Behälter enthält einen länglichen Hohlkörper 11, ein Stirnteil 12 an einem Ende, einen abnehmbaren Deckel 13 an dem gegenüberliegenden Ende und ein Paar Ventilüberdeckungen 14 und 16, welche Überdruck- und Auslassventile enthalten, die in Fig. 2 genauer gezeigt sind. Die Aussenflächen des Behälters sind mit Kühlrippen 17 bestückt. Eine Anordnung nicht gezeigter Luftventilatoren und Strömungskanäle kann vorgesehen sein, um die Kühlung des Behälters durch die direkte Luftumströmung der Kühlrippen 17 zu vergrössern. Die Kühlrippen 17 sind vorzugsweise relativ kräftig gebaut, um zusätzlich als Stoss- oder Schlagschutz zu dienen. Eine Vielzahl von Puffern 18 ist entlang den Seiten des Behälters vorgesehen, an welche Zapfen, Schlaufen oder Ähnliches für die Verladung und die Handhabung des Behälters angebracht werden können.

Eine erste Ausführungsform der Erfindung wird in den Figuren 2a und 2b dargestellt. Bei dieser Ausführungsform enthält die Strahlungsabschirm-Anordnung zur Moderierung der emittierten Neutronen eine Schicht wasserstoffhaltigen Materials wie Wasser, welche das radioaktive Material umgibt. Das wasserstoffhaltige Material wird seinerseits wiederum von einer Strahlenabschirmung umgeben, die aus spezifisch schwerem Material wie beispielsweise Blei, Tungsten oder vorzugsweise abgereichertem Uran besteht.

Wie in der Fig. 2b gezeigt ist, ist der Behälter 10 zum Transport einer Vielzahl von Brennstoff-Anordnungen 21 aus verbrauchtem Kernbrennstoff geeignet. Die Brennstoff-Anordnungen 21 werden von einem Korb 22 aufgenommen, welcher einen eierkistenförmigen Querschnitt besitzt und aus einander überschneidenden Teilen besteht. Durch diese Teile werden getrennte, am Ende offene Kammern für jede der Brennstoff-Anordnungen 21 gebildet. Der Korb 22 besteht vorzugsweise aus Kupfer oder einer Legierung desselben, um eine gute Wärmeleitung

und eine angemessene Stabilität bei hohen Temperaturen zu gewährleisten.

Der Korb 22 wird in dem Behälter durch eine Vielzahl von Verstrebungen 23 gehalten, welche zwischen dem Korb und einer Innenhülle 24 angebracht sind. Die Verstrebungen 23 sind so orientiert, dass sie sich in ihrer Längsrichtung nicht radial zu dem Behälter erstrecken. Dies trägt dazu bei, die Strahlungsübertragung in Längsrichtung durch die Verstrebungen 23 zu verhindern.

Der durch die Innenhülle 24 eingeschlossene Raum ist geeignet, flüssiges, wasserstoffhaltiges Material 26, vorzugsweise Wasser, aufzunehmen, welches den bestrahlten und verbrauchten Kernbrennstoff in den Korbfächern umspült und dadurch eine Schicht von minimaler Dicke  $t_1$  um den verbrauchten Brennstoff bildet. Dieses Wasser dient zwei wichtigen Funktionen. Erstens moderiert es, d. h. verlangsamt die schnellen Neutronen, welche von dem verbrauchten und bestrahlten Brennstoff emittiert werden, und verringert dadurch die Energie der Neutronenstrahlung. Natürlich werden durch den Abbremsvorgang auch einige der Neutronen eingefangen. Zweitens dient das Wasser zur Übertragung der Zerfallswärme von dem bestrahlten Brennstoff zu der Innenhülle 24.

Nach aussen zu wird die Innenhülle 24 von einer Abschirmschicht 27 aus schwerem Material, vorzugsweise abgereichertem Uran, von einer Schichtdicke  $t_2$  umgeben. Diese abgereicherte Uranschicht dient durch die Abschwächung der Gammastrahlung und weiterhin durch das Moderieren und den Einfang von Neutronen als Strahlungsabschirmung. Aus diesem Grunde wird Uran dem Blei vorgezogen, weil es pro Einheitsgewicht eine wirkungsvollere Abschirmung darstellt, da seine Schmelztemperatur höher und seine Stabilität grösser ist. Wegen des grossen Gewichts kann die Uranschicht 27 gewöhnlich aus einer Vielzahl abgestufter, ringförmiger Segmente gebildet werden, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist. Die treppenförmigen Zwischenflächen zwischen den Segmenten sorgen für einen rasterförmigen, verschachtelten Aufbau der Segmente und verhindern den unabgeschirmten Strahlungsdurchgang zwischen den Segmenten.

Über der Abschirmschicht 27 ist eine mit Rippen versehene Aussenhülle 28 angebracht, welche vorzugsweise aus nichtrostendem Stahl besteht. Die Aussenhülle 28 ist von wesentlicher Dicke, um dem Behälter die notwendige Stabilität zu verleihen. Wie in Fig. 2a dargestellt, kann das Stirnteil 12 zusammen mit dem Hohlkörperteil 11 aus einem Stück gebildet oder aber mit diesem dauerhaft verbunden sein.

Weiter ist aus der Fig. 2a zu ersehen, dass der Deckel 13 mit Abschirmmaterial 27 gefüllt ist und dass dieser abnehmbar an dem Hohlkörper 11 mit Hilfe eines Flansches und Stiftschrauben befestigt ist. Für die Abdichtung sorgt ein Dichtungsring 29. Der Deckel 13 ist mit einem Einsatzstück 31 versehen, welches in den Innenraum des Hohlkörpers 11 hineinragt und für die Abschirmung der Zwischenfläche zwischen dem Deckel 13 und dem Hohlkörper 11 sorgt.

Die Überdeckung 14 enthält ein automatisches Überdruckventil 32, um einen überdurchschnittlich hohen Überdruck in dem Behälter auszugleichen. Weiter enthält die Überdeckung 14 ein erstes, manuell einstellbares Ventil 33. Die Ventile 32 und 33 sind mit dem Innern des Behälters durch die Leitung 34 verbunden.

Die Überdeckung 16 enthält ein zweites, manuell betätigbares Ventil 36, welches mit dem Innern des Behälters durch eine Leitung 37 verbunden ist. Die Ventile 33 und 36 können dazu benutzt werden, um das flüssige, wasserstoffhaltige Material in den Behälter einzufüllen oder zu

entfernen. Beispielsweise kann die Flüssigkeit durch das Ventil 36 ausströmen, wenn durch das Ventil 33 komprimiertes Gas eingelassen wird.

Eine zweite Ausführungsform der Erfindung wird in den Fig. 4a und 4b dargestellt. Bei dieser Anordnung ist die Lage des wasserstoffhaltigen Materials und des schweren Abschirmmaterials vertauscht. Das bedeutet, dass das radioaktive Material zuerst mit einer Schicht aus schwerem Abschirmungsmaterial umgeben ist, welches seinerseits wiederum mit einer Schicht wasserstoffhaltigen Materials umhüllt ist.

Die zu transportierenden Brennstoff-Anordnungen sind in geeigneten Kammern in dem Korb 42 enthalten. Der Korb 42 kann hier aus festem Material oder rippenförmig aufgebaut sein. In beiden Fällen kann irgendein Zwischenraum und die Brennstoffmischungen mit einer Flüssigkeit umspült werden, um die Wärmeübertragung von dem verbrauchten Brennstoff zu erhöhen.

Die Umhüllung des Korbes 42 wird aus einer Abschirmschicht 47 gebildet, welche aus schwerem Material, vorzugsweise abgereichertem Uran, besteht. Die Abschirmschicht 47 kann mit einem korrosionsbeständigen Schutzmaterial wie rostfreiem Stahl, Kupfer oder Tungsten überzogen sein.

Zur Erleichterung des Aufbaus kann die Abschirmung 47 eine schichtartige Struktur aufweisen, die aus einer Vielzahl von konzentrischen Zylindern besteht. Die Ausbildung von schichtartigen Uranmetallzylindern wird beispielsweise von C. W. Loveland et al im AEC Forschungs- und Entwicklungsbericht Nr. KY-550 mit dem Titel «Demonstrationsbehälter aus geschichtetem Uranmetall zur Verschiffung von Brennstoffelementen» vom April 1969 beschrieben.

Die schwere Abschirmschicht 47 wird von einer Schicht 46 aus wasserstoffhaltigem Material umgeben. Die Schicht 46 kann flüssiges, wasserstoffhaltiges Material wie Wasser oder eine Lösung einer Borverbindung in Wasser sein, oder aber die Schicht 46 besteht aus einem festen wasserstoffhaltigen Material wie beispielsweise Zirkoniumhydrid. Wenn die Schicht 46 aus einer Flüssigkeit gebildet wird, wird die dichte Abschirmschicht 47 mit dem darin enthaltenen Korb 42 in dem Behälter durch eine Vielzahl von Verstrebungen 43 gehalten, welche zwischen der Schicht 47 und der berippten Aussenhülle 48 angebracht sind. Wenn die wasserstoffhaltige Schicht 46 aus Wasser besteht, kann es erwünscht sein, für die Zirkulation des Wassers zwischen der Schicht 46 und dem Wasser, welches den Korb 42 umspült, beispielsweise eine Vielzahl von Verbindungsleitungen 45, vorzusehen. Die Schicht 46 kann jedoch auch einen getrennten Wasserbehälter enthalten, welcher den Korb 42 geschlossen umfasst, und es können weiter für den gegenseitigen Wasseraustausch getrennte Füll-, Abfluss- und Überdruckeinrichtungen vorgesehen sein, welche nicht gezeigt sind.

Eine dritte Ausführungsform der Erfindung wird durch die Fig. 5a und 5b veranschaulicht. Bei dieser Ausführungsform sind abwechselnd Schichten aus wasserstoffhaltigem Material und schwerem Material vorgesehen, um die Abschirmwirkung zu erhöhen.

Ein Korb 52 zur Aufnahme der verbrauchten Brennstoff-Anordnungen wird durch eine von demselben beabstandete, innere Schicht 57 aus dichtem Abschirmmaterial gehalten, wozu beispielsweise eine Vielzahl von Verstrebungen 53 dienen. Die Brennstoff-Anordnungen und der Zwischenraum zwischen dem Korb 52 und der Schicht 57 ist beispielsweise mit Wasser gefüllt, um dadurch eine erste wasserstoffhaltige Schicht 56 zu bilden.

Die innere Schicht 57 aus dichtem Abschirmmaterial

ist von einer weiter aussen liegenden Schicht 57' aus dichtem Abschirmmaterial beabstandet, und der Zwischenraum zwischen beiden wird durch wasserstoffhaltiges Material ausgefüllt, um dadurch eine zweite wasserstoffhaltige Schicht 56' zu bilden. Wenn die Schicht 56' nicht aus einem geeigneten festen Material besteht, sind zur gegenseitigen Halterung Verstrebungen 53' erforderlich.

Die weiter aussen liegende dichte Schicht 57' wird von der gerippten Aussenhülle 58 umgeben. Verbindungsleitungen 55 können weiterhin vorgesehen sein, um eine Zirkulation des flüssigen, wasserstoffhaltigen Materials zu erlauben.

Wie bereits erwähnt, sind die Grösse und das Gewicht des Verschiffungsbehälters durch die praktische Kapazität der Verlade- und Transporteinrichtungen begrenzt. Es ist deshalb wünschenswert, die Nutzlast, d. h. die Menge des verbrauchten Brennstoffs, welche der Behälter aufnehmen kann, so gross wie möglich zu machen. Dabei ist natürlich immer das Zustandekommen einer kritischen Menge und Konfiguration zu vermeiden. Ebenso ist es erwünscht, die Produktionskosten des Behälters so klein wie möglich zu halten, um dadurch die Benutzungsgebühren für den Behälter zu senken. Das Entwicklungsziel ist deshalb, einen Behälter mit maximaler Nutzlast bei niedrigsten Kosten zu schaffen, um dadurch die Transportgebühren für den verbrauchten Brennstoff so niedrig wie möglich zu halten. Da das Gewicht des schweren Abschirmmaterials ein hauptsächlichster Bestandteil des Gesamtgewichtes ist, sollte die Menge des schweren Abschirmmaterials in Übereinstimmung mit den Erfordernissen nach struktureller Kompaktheit und angemessenem Wärmetransport so klein wie möglich gemacht werden.

Aus diesem Grunde ist es erstrebenswert, unter Berücksichtigung der strukturellen Kompaktheit und eines angemessenen Wärmetransportes die optimale Dicke des schweren und des wasserstoffhaltigen Abschirmmaterials zu bestimmen. Dies kann durch ein iteratives Verfahren gelöst werden. Im folgenden wird ein solches Verfahren vorgeschlagen.

1. Entsprechende Auswahl der Art und Menge des verbrauchten Brennstoffs, welchen der Behälter fassen soll und die Anordnung oder Konfiguration desselben in dem Behälter, wobei kritisch auf die gegebenen Standards zu achten ist, und Bestimmung der Neutronen- und Gammastrahlungsintensitäten oder deren Quellstärke.

Die Neutronen- und Gammastrahlung sind für einen gegebenen Fall eine Funktion vieler Faktoren, welche die Anreicherung des Brennstoffs, die Bestrahlungsvorgeschichte des Brennstoffs, die spezielle Reaktorleistung, die Abkühlzeit, die Konstruktion der Brennstoffelemente, die Art und die Menge des Brennstoffs sowie die Konfiguration des Brennstoffs in dem Behälter zusammen mit dem dadurch bedingten Selbstabschirmeffekt enthalten. Es soll angenommen werden, dass die Neutronen- und Gammaquellstärken mit bekannten Mitteln bestimmbar sind.

2. Auswahl der entsprechenden Abschirmmaterialien und deren Anordnung in Übereinstimmung mit Punkt 1. Um die Diskussion zu vereinfachen, soll im folgenden angenommen werden, dass als dichtes Abschirmmaterial Uran und als wasserstoffhaltiges Material Wasser gewählt sind, obwohl das Verfahren, ausser bei angenommenen Unfallbedingungen, wie weiter unten ausgeführt, genauso auf andere solche Materialien anwendbar ist.

3. Festsetzung der zulässigen Grenzen der Äquivalenzdosis für die biologischen Bestrahlungsdosisraten. Diese sind staatlich festgelegt und betragen beispielsweise 10mRem/h (Milli-Radium-Emanation pro Stunden) in einem Abstand von 100 cm von der Quelle.

lung ausgesetzten Oberfläche unter Normalbedingungen, und 1000 mRem/h in einem Abstand von 91.5 cm unter angenommenen Unfallbedingungen.

4. Festlegung eines vorläufigen Entwurfs für den Behälter. Zusätzlich zu der Anordnung des Brennstoffs schliesst dies das Material und den Entwurf für den Korb sowie das Innere und äussere Hüllmaterial und deren Dicke ein.

5. Auswahl eines Modells für eine Strahlungsquelle dadurch, dass die räumliche Verteilung der Strahlung von dem verbrauchten Brennstoff als Quelle vorgegeben bzw. festgelegt wird.

6. Festlegung eines ersten Referenzpunktes durch die Bestimmung der Urandicke, welche zur Verringerung der Gammadosisrate auf 50 % der erlaubten normalen Grenzdosisrate für die Gesamtstrahlung benötigt wird.

Die Abschwächcharakteristik von Uran für Gammastrahlung wird beispielsweise von Jerome I. Dummer Jun. in dem «General Handbook for Radiation Monitoring» LA-1835 (dritte Auflage). US Government Printing Office (1959) angegeben.

7. Bestimmung eines zweiten Referenzpunktes dadurch, dass die Urandicke von Punkt 6 benutzt wird und auf eine bekannte Neutronentransporttheorie angewendet wird, um damit die Wasserdicke zu bestimmen, welche zusammen mit der durch Punkt 6 festgelegten Urandicke die Neutronenstrahlungsdosis auf 50 % der erlaubten normalen Grenzdosis für die Gesamtstrahlung abschwächt.

8. Schrittweise Variation der Wasser- und Urandicken, welche durch 6 und 7 bestimmt sind, um durch ein iteratives Verfahren die optimale Dicke zu bestimmen.

Die Dicken können in sechs verschiedenen Weisen variiert werden:

1. Ersetzung der Urandicke durch die Wasserdicke.

2. Verkleinerung der Urandicke bei konstanter Wasserdicke.

3. Verkleinerung der Wasserdicke bei konstanter Urandicke.

4. Vergrösserung der Wasserdicke bei konstanter Urandicke.

5. Ersetzen der Wasserdicke durch die Urandicke.

6. Vergrösserung der Urandicke bei konstanter Wasserdicke.

9. Berechnung der Dosisraten der Gamma- und Neutronenstrahlung für jede der schrittweisen Dickenveränderungen. Die Summe der beiden Dosisraten darf den Grenzwert für die normale Gesamtdosisrate nicht überschreiten.

10. Berechnung der Dosisraten von der Neutronen- und Gammastrahlung für jede Kombination von Wasser-Uran-Dicken unter der Annahme von vorliegenden angenommenen Unfallbedingungen, bei welcher das gesamte Wasser durch einen Leerraum ersetzt ist. Die Summe dieser beiden Dosisraten darf den Höchstwert für die Gesamtdosisrate bei angenommenen Unfallbedingungen nicht überschreiten. Diejenigen Dickenkombinationen, welche diesen angenommenen Unfallbedingungen nicht entsprechen, werden verworfen. Wenn alle Parameterkombinationen dieser Bedingung nicht genügen können, so muss die Urandicke vergrössert werden, um die Dosisrate bei einem angenommenen Unfall unter den Grenzwert zu verringern. Wenn festes, wasserstoffhaltiges Material anstatt eines flüssigen verwendet wird, so braucht nicht gefordert zu werden, dass dieses Material unter angenommenen Unfallbedingungen verloren geht, und die Betrachtungen von Punkt 10 brauchen nicht angewendet zu werden. In solch einem Fall ist es nur notwendig, die optimalen Parameter von allen zugelassenen auszuwählen.



den nicht verworfenen Parameterkombinationen, d. h. derjenigen, welche die geringste Urandicke aufweist.

Durch die Bestimmung der optimalen Wasser- und Urandicken für feste Nebenbedingungen wird dadurch ein Behälter erzielt, welcher die geforderte Abschirmung für Gamma- und Neutronenstrahlung mit kleinstem Gesamtgewicht des Abschirmmaterials für die gewählte Anordnung aufweist.

Die Fig. 6 veranschaulicht die Notwendigkeit einer speziellen Neutronenabschirmung für Brennstoffe, welche einem starken Abbrand ausgesetzt waren. Die in Fig. 6 dargestellte Kurve zeigt die Neutronenstrahlungsstärke bezogen auf ein Gramm des dem Reaktor ausgesetzten Urans in Abhängigkeit der Uranbestrahlung während des Reaktorbetriebes. Der typische Anstieg der Neutronenemissionsrate des bestrahlten Brennstoffes mit einer Vergrößerung der Bestrahlungsrate ist gut erkennbar.

Fig. 7 veranschaulicht den typischen Abschwächungsgrad verschiedener Abschirmungskombinationen aus Wasser und Uran in einem erfindungsgemässen Verschiffungsbehälter für verbrauchte Brennstoffe. Eine Kurvenschar 71-1, 71-2 und 71-3 veranschaulicht die Variation der Gesamtdosisraten, der Gamma- bzw. der Neutronendosisraten für veränderliche Wasserdicken in Verbindung mit einer vorgegebenen Urandicke von 10,2 cm. Eine andere Kurvenschar 72-1, 72-2 und 72-3 zeigt die Veränderung der Gesamtdosisraten, der Gamma- bzw. Neutronendosisraten bei verschiedenen Urandicken in Verbindung mit einer vorgegebenen Wasserdicke von 12,7 cm.

In der folgenden Tabelle sind passende Parameter für einen erfindungsgemässen Behälter in der Ausführungsform nach den Fig. 2a und 2b angegeben. Dieser Behälter wurde zur Verschiffung von Kernreaktor-Brennstoff entworfen, dessen Abbrand in der Grössenordnung von 35 GWd/Mt liegt (Gigawatt-Tagen/Megatonne).

Behälter: Aussenlänge	≈ 550 cm
Behälter: Aussendurchmesser	≈ 150 cm
Nutzlast-Kapazität	≈ 9 × 10 <sup>4</sup> cm <sup>3</sup> - ca. 2000 kg Uran
Vorausgesetzte Strahlungsquellstärke:	
Gamma (spezifische Leistung)	40 KW/kg U
Neutronen	2 × 10 <sup>4</sup> Neutronen/sec.
Angenommene Grenzen der Dosisrate:	
Normalbedingungen	10 mRem/h bei 183 cm
Angenommene Unfallbedingungen	1000 mRem/h bei 91,5 cm
Korb-Kupfer	≈ 2,5 cm
Wasserstoffhaltige Abschirmung-Wasser	12,7 cm
Innenhülle-rostfreier Stahl	≈ 1,3 cm
Dichte Abschirmungsschicht-verbrauchtes Uran	10,2 cm
Aussenhülle-rostfreier Stahl	≈ 3,8 cm
Gesamtgewicht des Behälters	≈ 65 t

### PATENTANSPRUCH

Verschiffs- und Transportbehälter für radioaktives Material, vorzugsweise für stark abgebrannte, radioaktive Kernreaktorbrennstoffe, welche biologisch signifikante Strahlung einschliesslich Gamma- und Neutronenstrahlung abgeben, gekennzeichnet durch einen länglichen Hohlkörper (11), Lagerungseinrichtungen (22, 42, 52) innerhalb des Hohlkörpers (11) zur Aufnahme und Lagerung des radioaktiven Materials (27) und einer Strahlungsabschirmung.

ordnung, welche das radioaktive Material und die Lagerungseinrichtung umgibt und welche zur Abschwächung der Gammastrahlung mindestens eine Schicht aus spezifisch schwerem Material (27, 47, 57, 57') und zur Moderierung der Neutronen mindestens eine Schicht wasserstoffhaltigen, spezifisch leichten Materials (26, 46, 56, 56') enthält, wobei die gesamte Dicke des schweren Materials 7,5-20,5 cm und die gesamte Dicke des wasserstoffhaltigen Materials 5,0-25,5 cm beträgt.

### UNTERANSPRÜCHE

1. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenoberfläche des Hohlkörpers (11) eine Mehrzahl von Kühlrippen (17) zur Wärmeabfuhr aufweist, welche auch zum Abfangen von Stössen ausgebildet sind.

2. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die schwere Materialschicht die wasserstoffhaltige Materialschicht umgibt.

3. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die wasserstoffhaltige Materialschicht die schwere Materialschicht umgibt.

4. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Schicht aus wasserstoffhaltigem Material zwischen Schichten aus schwerem Material liegt.

5. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmanordnung abwechselnd Schichten aus schwerem und wasserstoffhaltigem Material von verschiedener Dicke enthält.

6. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das schwere Material eine Dichte von mindestens 5 g pro cm<sup>3</sup> aufweist.

7. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das schwere Material eine hohe Massenzahl aufweist.

8. Behälter nach Unteranspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das schwere Material Uran ist.

9. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserstoffhaltige Material ein metallisches Hydrid ist.

10. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserstoffhaltige Material eine wasserstoffdichte besitzt, welche mindestens die Hälfte derjenigen von leichtem Wasser beträgt.

11. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserstoffhaltige Material eine Flüssigkeit ist, welche in Wärmekontakt mit dem radioaktiven Material steht, und dass die Flüssigkeit der Abfuhr der vom radioaktiven Material erzeugten Wärme dient.

12. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserstoffhaltige Material Wasser ist.

13. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagerungseinrichtung (22, 42, 52) innerhalb des Hohlkörpers liegt und innerhalb der Abschirmanordnung als Korb mit mehreren Kammern zur Aufnahme des radioaktiven Materials ausgebildet ist.

14. Behälter nach Unteranspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Korb aus einem Material besteht, welches eine Wärmeleitfähigkeit von wenigstens 59,5 kcal pro Stunde, pro Meter und pro Grad Celsius aufweist.

15. Behälter nach Unteranspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Korb aus Kupfer besteht.

16. Behälter nach Patentanspruch und Unteranspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die schwere Materialschicht (27) mit der Innenfläche (28) des Hohlkörpers (11) in Wärmekontakt steht, um Wärme von der schweren

Korb (22) von der umgebenden schweren Schicht (27) beabstandet ist, und dass flüssiges, wasserstoffhaltiges Material (26) das radioaktive Material (21) umspült und den Zwischenraum zwischen dem Korb (22) und der schweren Schicht (27) zur Moderierung der von dem radioaktiven Material emittierten Neutronen und zur Wärmeübertragung von dem Brennstoff zu der schweren Schicht (27) ausfüllt.

17. Behälter nach Patentanspruch und Unteranspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die schwere Materialschicht (47) den Korb (42) umgibt und von dem Hohlkörper (11) beabstandet angeordnet ist und dass weiter flüssiges, wasserstoffhaltiges Material (46) den Zwischenraum zwischen der schweren Materialschicht (47) und dem Hohlkörper (11) ausfüllt.

18. Behälter nach Patentanspruch und Unteranspruch 13, gekennzeichnet durch eine erste schwere Materialschicht (57) innerhalb des Hohlkörpers (11), welche die innere Oberfläche (58) des Hohlkörpers (11) berührt, durch mindestens eine zweite schwere Materialschicht (57), welche sich zwischen der ersten schweren Schicht (57) und dem Korb (42) befindet, und weiter gekennzeichnet durch flüssiges, wasserstoffhaltiges Material, welches das radioaktive Material umspült und die Zwischenräume (56, 56')

zwischen dem Korb (52) und der zweiten Schicht (57) sowie zwischen der ersten (57) und der zweiten (57) Schicht ausfüllt.

19. Behälter nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Menge des wasserstoffhaltigen Materials ausreicht, um die spezifische Dosis der Neutronenstrahlung wenigstens um einen Faktor 10 zu verringern, und dass die Kombination aus dem wasserstoffhaltigen und dem schweren Material eine Abschwächung der spezifischen Dosis für die biologisch signifikante Strahlung von nicht mehr als  $10^{12}$  bewirkt.

20. Behälter nach Patentanspruch und Unteranspruch 11, gekennzeichnet durch ein Überdruckventil (32) zum Schutz des Behälters für den Fall, dass der Innendruck grösser als zulässig wird.

21. Behälter nach Patentanspruch und Unteranspruch 11, gekennzeichnet durch zwei weitere Ventile (33, 36) und ein Leitungssystem (34, 37) für die Zu- und Ableitung des flüssigen, wasserstoffhaltigen Materials in und aus dem Behälter.

General Electric Company

Vertreter: Dr. Arnold R. Egli, Zürich